

Gestión Integral del Recurso Hídrico

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA TINCE PARA LA OPTIMIZACIÓN
DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE TABIO
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

LUIS EDUARDO MILLAN GONZÁLEZ Cód. 064082046
LUIS ALEJANDRO PEDRERO GUZMAN Cód. 064081018

Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: Ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero
Magister en Recursos Hidráulicos

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

2016

Gestión Integral del Recurso Hídrico

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA TINCE PARA LA OPTIMIZACIÓN
DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE TABIO
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

LUIS EDUARDO MILLAN GONZÁLEZ Cód. 064082046
LUIS ALEJANDRO PEDRERO GUZMAN Cód. 064081018

Director: Ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero
Magister en Recursos Hidráulicos

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

2016

Declaratoria de originalidad:

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de tesis es resultado de la investigaciones de los autores, excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

Luis Eduardo Millán González

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'L' and 'M' with a horizontal line extending to the right.

Código: 064082046

Luis Alejandro Pedrero Guzmán

A handwritten signature in brown ink, featuring a stylized 'L' and 'P' with a horizontal line extending to the right.

Código: 064081018

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 13 de Agosto de 2016

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a Dios, a mi madre Mercedes González Vargas, mi padre Jairo Millán Barrera y mis hermanos John Millán, Oscar Millán y Alfonso Millán, los cuales fueron las personas que día a día me apoyaron y me llenaron de fortaleza para salir adelante en los momentos difíciles durante toda la carrera profesional, gracias a ellos por estar ahí, sin ellos esto no habría sido posible, gracias.

Luis Eduardo Millán González

AGRADECIMIENTO

Primero que todo quiero agradecerle a Dios y a mi Familia, por guiarme siempre por el buen camino en las situaciones difíciles, gracias a ellos por llenarme de fortaleza para salir adelante y lograr cumplir mi meta de ser Ingeniero Ambiental.

A todos los docentes que estuvieron presentes brindándome conocimiento durante esta etapa de formación y por ultimo a la Universidad Libre por abrirme sus puertas para formarme como profesional.

Luis Eduardo Millán González

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de grado a esa
energía hacedora de todo lo
imposible y por supuesto a mi familia,
integrada por el trébede que
sostienen la unión, la fuerza y el
amor, blanca guzmán mi madre,
infinitas gracias a ella por sus
oraciones, blanquita pedrero,
eternamente mi niña, me enseñó que
siendo terco se logra lo deseado.*

Luis Alejandro Pedrero Guzmán

AGRADECIMIENTO

Agradezco en especial a Fernando parra, mi primo, el cual respeto y admiro, me dio la elección de formarme como ingeniero Ambiental, espero algún día retribuir su valiosa ayuda, de igual manera extendo mis agradecimientos a mis familiares y amigos, por confiar y creer en mí, y por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

Por último a mi primo Diego Forero que aunque no se encuentre físicamente con nosotros, estará presente en mi corazón, aún recuerdo, sus palabras de lucha que me vestían de guerrero... ¡Primo lo logramos!

Luis Alejandro Pedrero Guzmán

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
3	JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR	3
4	OBJETIVOS	4
4.1	Objetivo general	4
4.2	Objetivos específicos	4
5	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
5.1	Sistema de abastecimiento	5
5.1.1	Fuente de abastecimiento	5
5.1.2	Obras de captación	5
5.1.3	Obras para el transporte de agua	5
5.2	Hidrología	5
5.3	Cuenca hidrográfica	5
5.4	Zonificación hidrográfica	6
5.4.1	La divisoria de aguas	6
5.4.2	Río principal	6
5.5	Caudal de diseño	6
5.6	Consumo total	7
5.7	Pérdidas de agua	7
5.8	Bocatoma de fondo	7
5.9	Desarenador	7
5.10	Optimización	7
6	MARCO GEOGRÁFICO	8

6.1	Clima	8
6.2	Hidrografía	8
7	DISEÑO METODOLÓGICO	9
7.1	Fase 1: Determinación de la demanda de agua potable para el municipio de Tabio	9
7.2	Fase 2: Análisis hidrológico de la quebrada Tincé	9
7.2.1	Área de la cuenca	9
7.2.2	Aforo de la quebrada	9
7.2.3	Rendimiento de la cuenca	10
7.2.4	Curva de duración de caudales quebrada	10
7.3	Fase 3: Diagnostico del sistema de abastecimiento	10
7.4	Fase 4: Diseño del sistema de abastecimiento	10
8	ANÁLISIS Y RESULTADOS	13
8.1	Determinación de la demanda de agua potable para el municipio de Tabio	13
8.1.1	Proyección de la población	13
8.1.2	Dotación máxima de agua	¡Error! Marcador no definido.
8.1.3	Demanda de agua	20
8.2	Análisis hidrológico de la quebrada Tincé	21
8.2.1	Área de la cuenca de la quebrada Tincé	21
8.2.2	Aforo de la quebrada Tincé	22
8.2.3	Rendimiento hídrico de la cuenca de la quebrada Tincé	27
8.2.4	Curva de duración de caudales quebrada Tincé	28
8.3	Diagnóstico del sistema de abastecimiento	30
8.3.1	Captación	30

8.3.2	Aducción	32
8.3.3	Desarenador	34
8.4	Diseño de la red de abastecimiento	35
8.4.1	Caudales de diseño	35
8.4.2	Captación	36
8.4.3	Aducción	45
8.4.4	Desarenador	47
8.4.5	Número máximo de habitantes que se puede abastecer con el diseño propuesto	56
9	CONCLUSIONES	57
10	RECOMENDACIONES	59
11	BIBLIOGRAFIA	60

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los censos históricos realizados en el Municipio de Tabio.	13
Tabla 2. Proyección de diseño de un acueducto según el nivel de complejidad del sistema.	15
Tabla 3. Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.	15
Tabla 4. Proyecciones de los métodos de estimación de la población.....	18
Tabla 5. Dotación máxima de agua en ($Lhab * dia$) de acuerdo al nivel de complejidad del sistema y al clima del municipio.	19
Tabla 6. Consumo total adoptado.....	20
Tabla 7. Demanda de agua para los años proyectados en el municipio de Tabio.	20
Tabla 8. Relación de distancia y profundidad para la obtención del perfil topográfico.	22
Tabla 9. Velocidad obtenida en cada punto.	25
Tabla 10. Caudal total del aforo.....	27
Tabla 11. Caudales medios de quebrada Tincé (m^3/s).	28
Tabla 12. Frecuencia de caudales.....	29
Tabla 13. Funcionamiento del desarenador.	34
Tabla 14. Caudal máximo diario.	36
Tabla 15. Caudal máximo horario.....	36
Tabla 16. Cotas de la bocatoma (msnm).....	44
Tabla 17. Cotas del diseño del desarenador (msnm).	54

LISTADO DE GRAFICOS

Grafico 1. Cuenca hidrográfica de la quebrada Tincé.....	21
Grafico 2. Perfil topográfico lugar del aforo.....	24
Grafico 3. Curva de duración de caudales quebrada Tincé	29
Grafico 4. Canal de aducción.....	37
Grafico 5. Rejilla.....	39
Grafico 6. Canal de aducción.....	40
Grafico 7. Cámara de recolección.....	41
Grafico 8. Resultados del diseño de la bocatoma. Planta.....	43
Grafico 9. Resultados del diseño de la bocatoma. Corte B-B.	45
Grafico 10. Perfil de la aducción bocatoma-desarenador.	47
Grafico 11. Resultados del diseño del desarenador. Planta.	53
Grafico 12. Resultados del diseño del desarenador. Corte longitudinal A-A.....	55

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Lectura de la profundidad en cada punto.	23
Fotografía 2. Lectura de la velocidad en cada punto.	25
Fotografía 3. Muro de contención.	31
Fotografía 4. Bocatoma de fondo.	31
Fotografía 5. Cámara recolectora.	32
Fotografía 6. Tubería de aducción en la presa de contención.	33
Fotografía 7. Tubería de aducción de la cámara recolectora.	33
Fotografía 8. Desarenador.	35

1 INTRODUCCIÓN

El agua es considerada uno de los recursos naturales más importantes para la vida de los seres humanos, pues con este recurso no sólo se suple las necesidades básicas, sino que también se realizan gran variedad de actividades industriales.

Un sistema de abastecimiento de un acueducto cumple la importante tarea de captar el agua cruda para su posterior tratamiento y así ser suministrada a los habitantes de una población. Sin embargo, cuando dicho sistema es obsoleto ya sea porque las estructuras son ineficientes o por el aumento de la población, se hace necesario la búsqueda de diferentes alternativas las cuales puedan satisfacer la necesidad del preciado líquido.

Este proyecto tiene como finalidad optimizar el sistema de abastecimiento del municipio de Tabio y dar diferentes alternativas para el buen suministro de agua a la población.

Inicialmente se realizó un estudio de la demanda de agua del municipio, es decir que caudal se necesita para abastecer al 100 % de los habitantes para un periodo de diseño de 25 años. Después se realizó un análisis hidrológico de la quebrada Tincé, con el fin de identificar el rendimiento hídrico y el máximo caudal que se le puede extraer a la quebrada.

Luego de haber identificado el caudal máximo que se le puede extraer a la quebrada Tincé, se procedió a diseñar las estructuras hidráulicas del sistema de abastecimiento, entre las que se encuentra la bocatoma, la aducción y el desarenador.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Tabio se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Bogotá a 45 km y limita con los municipios de Zipaquirá, Cajicá, Subachoque y Tenjo. Cuenta con una extensión total de $7,45 \text{ Km}^2$, de los cuales $0,43 \text{ Km}^2$ corresponden al área urbana y $74,07 \text{ Km}^2$ corresponden al área rural, según el censo realizado en 2005 la población era de 20,710 habitantes (DANE, 2010). Cuenta con 3 quebradas, las cuales tienen sus nacimientos en la cuchilla de paramillo límites con el municipio de Subachoque (Alcaldía de Tabio, 2013).

El acueducto del municipio de Tabio se abastece por medio de dos fuentes hídricas, la quebrada Tincé y el pozo Juaica, las cuales proporcionan un caudal de $18 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ y $8 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ respectivamente. EMSERTABIO ESP es la empresa encargada de suministrar el agua potable al municipio de Tabio, actualmente se logra abastecer al 100 % de los habitantes del área urbana y al 20 % de los habitantes del área rural (CIDETER, 2010).

Aunque la oferta de agua de la quebrada es superior, no se puede captar un caudal mayor por el motivo de que el sistema de abastecimiento fue diseñado para operar como máximo con un caudal $18 \frac{\text{L}}{\text{s}}$.

Otro de los inconvenientes que se presenta en el municipio de Tabio es el racionamiento del agua, el cual se está realizando por sectores, con el fin de que el líquido llegue a la mayoría de los habitantes.

3 JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR

En la actualidad en Colombia solo el 22 % de los municipios tienen agua totalmente potable, lo que indica que a pesar de ser un país rico en cuanto al recurso hídrico no se cuenta con los sistemas adecuados para suplir las necesidades básicas.

El agua es uno de los recursos naturales más indispensables para la supervivencia y el desarrollo del ser humano, por lo tanto se requiere un buen uso y una buena administración para la conservación de este recurso.

El sistema de abastecimiento del municipio de Tabio fue diseñado para abastecer una cantidad menor de habitantes a la que hay en este momento en el municipio.

Por este motivo es de gran importancia realizar el estudio a la quebrada Tincé, con el fin de determinar un caudal que garantice un mayor cubrimiento en cuanto al número de habitantes beneficiados por el servicio.

De acuerdo a lo anterior en este proyecto se pretende realizar un diseño para la optimización del sistema de abastecimiento, entre los cuales se encuentra la bocatoma, aducción y desarenador.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Realizar el análisis hidrológico de la quebrada Tincé para optimizar la red de acueducto y el abastecimiento del municipio de Tabio en el departamento de Cundinamarca.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros hidrológicos en la zona de captación de la quebrada Tincé que abastece al acueducto del municipio de Tabio Cundinamarca.
- Realizar las proyecciones de población para determinar la demanda del acueducto del municipio de Tabio Cundinamarca.
- Proponer la optimización de la bocatoma, aducción y desarenador, para la red de abastecimiento del acueducto del municipio de Tabio Cundinamarca.

5 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

5.1 Sistema de abastecimiento

Un sistema de abastecimiento de agua consta de los siguientes de los elementos:

5.1.1 Fuente de abastecimiento

Se dividen en aguas subterráneas y superficiales, tales como ríos, lagos, embalses o incluso aguas lluvias.

5.1.2 Obras de captación

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de bocatomas, mientras que para la captación de aguas subterráneas se hace por medio de pozos.

5.1.3 Obras para el transporte de agua

Estas obras dependerán del tipo de fluido a transportar. Si se trata de agua cruda el tipo de transporte es aducción, mientras que si se habla de agua potable se hará por conducción.

Dependiendo de las condiciones topográficas y la distancia, el transporte del agua puede efectuarse en tuberías o canales, a presión o por gravedad. La aducción se puede realizar en canales o tuberías, mientras que la conducción se debe realizar en un conducto cerrado, normalmente en tuberías (EPM, 2009).

5.2 Hidrología

Es la ciencia que estudia factores del agua como: su ocurrencia, circulación, distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente (Caceres, 1999).

5.3 Cuenca hidrográfica

Es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Decreto 1729, 2002). La cuenca hidrográfica es delimitada

por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas, en ella se encuentran recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como el agua, el suelo, la vegetación y la fauna (Parra, 2009).

5.4 Zonificación hidrográfica

Son subdivisiones del territorio de la cuenca en función a sus características de relieve las cuales son:

5.4.1 La divisoria de aguas

La divisoria de aguas es una línea que delimita la cuenca hidrográfica, marca el límite entre una cuenca y las cuencas vecinas (Cocanougher & Henken, 2007).

5.4.2 Río principal

Es definido como el curso con mayor caudal de agua o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje. La mayoría de las cuencas presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El curso de un río se divide en dos:

5.4.2.1 Afluentes

Es el curso de agua que desemboca en otro río más importante (Valera, 2009).

5.4.2.2 Efluentes

Son derivaciones de una corriente de agua de mayor importancia a través de otra menor, el cual descarga sus aguas en otra corriente de menor orden.

5.5 Caudal de diseño

Para diseñar las estructuras hidráulicas de un acueducto es necesario calcular el caudal apropiado. Para esto se debe tener en cuenta la población de diseño y el consumo total equivalente al municipio. Regularmente se trabaja con los siguientes tres caudales:

- Caudal medio diario.
- Caudal máximo diario.
- Caudal máximo horario.

5.6 Consumo total

Para calcular el caudal de diseño de un acueducto es necesario determinar el consumo total de agua o dotación bruta. El consumo se define como el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa en $(\frac{L}{hab*día})$.

5.7 Pérdidas de agua

Las pérdidas de agua en un sistema de acueducto se definen como la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua utilizado por los usuarios (EPM, 2009).

5.8 Bocatoma de fondo

Es una estructura hidráulica destinada a captar un cierto caudal líquido de un río, un lago o embalse, puede ser lateral o de fondo.

5.9 Desarenador

Es un tanque construido con el fin de sedimentar partículas en suspensión por la acción de la gravedad. Este debe situarse lo más próximo a la bocatoma, para evitar obstrucciones en la línea de aducción. Los materiales que principalmente se sedimentan son arcilla, arena o grava fina.

5.10 Optimización

Es un proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).

.

6 MARCO GEOGRÁFICO

El municipio de Tabio se encuentra ubicado en la provincia de Sabana Centro en el departamento de Cundinamarca, las coordenadas geográficas de la cabecera municipal están en 74° 6' 0" Oeste y 4° 55' 1" Norte, limita al norte con el Municipio de Zipaquirá, al oriente con el Municipio de Cajicá, al occidente con el Municipio de Subachoque y al sur con el Municipio de Tenjo. Cuenta con una extensión de total de 7496 hectáreas, de las cuales 51.8 hectáreas corresponden al área urbana y 7444,2 hectáreas corresponden al área rural (Alcaldía de Tabio, 2008).

6.1 Clima

El clima del municipio de Tabio en las etapas secas como diciembre, enero, junio y julio puede alcanzar una temperatura al medio día de 23°C, y en las noches puede llegar a disminuir la temperatura hasta los -4°C, mientras que en las etapas lluviosas la temperatura varía de 10°C a 20°C.

6.2 Hidrografía

El municipio de Tabio cuenta con dos fuentes hídricas principales el río Frío y el río Chicú, los cuales pertenecen a la cuenca del río Bogotá. El río Frío a su paso recibe afluentes como las quebradas de pozo Ondo, Cussa, el Hornillo, el Alcaparro o Yamontuza, mientras que el río Chicú a su paso recibe afluentes como las quebradas de Guandoque y Tincé (CIDETER, 2010).

7 DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de este proyecto se realizará de acuerdo a las siguientes fases:

7.1 Fase 1: Determinación de la demanda de agua potable para el municipio de Tabio

Inicialmente se obtendrán los resultados de los censos históricos realizados en el municipio de Tabio. Después se realizará la proyección de la población por uno de los métodos ya establecidos, con el fin de identificar el nivel de complejidad del sistema el cual define el periodo de diseño y los métodos de proyección de la población a utilizar. Posteriormente se calculará el promedio de los resultados de los métodos aplicados para la proyección de la población en el periodo máximo de diseño.

Luego se identificará la dotación máxima de agua en $(\frac{L}{hab*dia})$, la cual depende del nivel de complejidad del sistema y el clima del municipio. Por último se multiplicará la dotación máxima de agua, por el promedio del resultado de los métodos aplicados para el periodo máximo de diseño.

7.2 Fase 2: Análisis hidrológico de la quebrada Tincé

En esta fase se estudiarán los siguientes parámetros:

7.2.1 Área de la cuenca

Inicialmente se identificará las coordenadas del punto de la bocatoma por medio del GPS, luego se delimitará la cuenca a partir de la ubicación de las coordenadas de la bocatoma en la cartografía, y por último se medirá el área mediante la utilización del planímetro.

7.2.2 Aforo de la quebrada

El aforo se realizará según los siguientes pasos:

- En primera parte se elegirá un punto de la quebrada para realizar el aforo, luego se medirá el ancho de la quebrada en ese punto y se dividirá en varias secciones. Posterior a esto se medirán y se graficarán las profundidades de cada sección con el fin de obtener el perfil transversal del cauce en el lugar del aforo, y por último se calculará el área del perfil.
- En segunda parte se tomará la velocidad en cada una de las secciones por medio de un micro molinete.
- Por último se realizarán los cálculos correspondientes para obtener el caudal resultado del aforo.

7.2.3 Rendimiento de la cuenca

Se obtendrá a partir de la división del caudal obtenido en el aforo y el área de la cuenca, cuyo resultado es expresado en $(\frac{L}{s}{Km^2})$.

7.2.4 Curva de duración de caudales quebrada

Inicialmente se buscarán los caudales medios de la quebrada Tincé de los últimos años. Luego se realizará la tabla de frecuencias para datos agrupados, con los caudales medios, y por último se realizará la gráfica para obtener la curva de duración de caudales, con la cual se determinara el caudal de diseño para el sistema de abastecimiento.

7.3 Fase 3: Diagnostico del sistema de abastecimiento

En esta fase se identificará y se evaluara el estado actual del sistema, se analizarán factores como el caudal de operación y las estructuras.

7.4 Fase 4: Diseño del sistema de abastecimiento

En esta fase se realizará el diseño de la bocatoma, la aducción y el desarenador según los lineamientos establecidos en el RAS 2000.

8 ANÁLISIS Y RESULTADOS

8.1 Determinación de la demanda de agua potable para el municipio de Tabio

Para la determinación de la demanda se estudiarán los siguientes elementos:

8.1.1 Proyección de la población

En la siguiente tabla se presentan los censos realizados en el municipio de Tabio, los cuales son necesarios para realizar la proyección de la población.

Tabla 1. Resultados de los censos históricos realizados en el Municipio de Tabio.

Año	# habitantes
1938	3064
1951	3213
1964	5274
1973	7094
1986	9034
1993	10063
2005	20714

Fuente. DANE.

Inicialmente se realizó la proyección de la población con el siguiente método:

- Método aritmético de estimación de la población

Para el cálculo de la proyección de la población por el método aritmético se utilizaron las siguientes fórmulas y se desarrolló de la siguiente manera (RAS, 2000):

$$Ka = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}$$

$$Pf = Puc + Ka \times (Tf - Tuc)$$

Donde:

Ka: Pendiente de la recta.

Puc: Población de último censo.

Tuc: Año del último censo.

Pci: población del censo inicial.

Tci: Año del censo inicial.

Pf: Población proyectada.

Tf: Año de la proyección.

$$Ka = \frac{20714 - 3064}{2005 - 1938} = 262,43$$

$$P_{f\ 2016} = 20714 + 261,43 \times (2016 - 2005) = 23612\ Hab$$

$$P_{f\ 2021} = 23612 + 261,43 \times (2021 - 2016) = 24929\ Hab$$

$$P_{f\ 2026} = 24929 + 261,43 \times (2026 - 2021) = 26246\ Hab$$

$$P_{f\ 2031} = 26246 + 261,43 \times (2031 - 2026) = 27536\ Hab$$

$$P_{f\ 2036} = 27536 + 261,43 \times (2036 - 2031) = 28880\ Hab$$

$$P_{f\ 2041} = 28880 + 261,43 \times (2041 - 2036) = 30198\ Hab$$

De acuerdo a los cálculos anteriores se tiene como resultado una población de 30198 habitantes para el año 2041, lo cual determina que el nivel de complejidad del sistema es medio alto, y el periodo de diseño será 25 años, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2. Proyección de diseño de un acueducto según el nivel de complejidad del sistema.

# habitantes	Nivel de Complejidad	Resolución 2320/2009 MAVDT (Años)
< 2500	Bajo	25
2500-12500	Medio	25
12500-60000	Medio alto	25
> 60000	Alto	30

Fuente. Resolución 2320 de 2009.

El nivel de complejidad del sistema también determina los métodos de proyección mínimos que se deben aplicar, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.

Métodos por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + Logarítmico			X	X

Fuente. RAS-2000.

Para este caso es necesario complementar la proyección de la población con los siguientes métodos:

- Método geométrico de estimación de la población

Para el cálculo de la proyección de la población por el método geométrico se utilizaron las siguientes fórmulas y se desarrolló de la siguiente manera (RAS, 2000):

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{Tf-Tuc}$$

Donde:

Pf: Población Proyectada.

Puc: Población del último Censo.

Pci: Población del Censo inicial.

r: Rata de crecimiento anual.

Tuc: Año del último censo.

Tci: Año del censo inicial.

Tf: Año de proyección.

$$r = \left(\frac{20714}{3064} \right)^{\frac{1}{(2005-1938)}} - 1 = 0,0289$$

$$P_{f\ 2016} = 20714 * (1 + 0,0289)^{2016-2005} = 28348\ Hab$$

$$P_{f\ 2021} = 28348 * (1 + 0,0289)^{2021-2016} = 32694\ Hab$$

$$P_{f1\ 2026} = 32694 * (1 + 0,0289)^{2026-2021} = 37706\ Hab$$

$$P_{f\ 2031} = 37706 * (1 + 0,0289)^{2031-2026} = 43485\ Hab$$

$$P_{f\ 2036} = 43485 * (1 + 0,0289)^{2036-2031} = 50151\ Hab$$

$$P_{f\ 2041} = 50151 * (1 + 0,0289)^{2041-2036} = 57839\ Hab$$

- Método logarítmico de estimación de la población

Para el cálculo de la proyección de la población por el método geométrico se utilizaron las siguientes fórmulas y se desarrolló de la siguiente manera (RAS, 2000):

$$K = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}}$$

$$Pf = Pci * e^{K*(Tf-Tci)}$$

Dónde:

Pcp: Población de censo posterior.

Pca: Población del censo anterior.

Tf: Año de proyección.

Tcp: Año del censo posterior.

Tca: Año del censo Anterior.

Pf: población proyectada.

Tci: Año del censo inicial.

Pci: Población del censo inicial.

$$K1 = \frac{\ln(3213) - \ln(3064)}{1951 - 1938} = 0,0037$$

$$K2 = \frac{\ln(5274) - \ln(3213)}{1964 - 1952} = 0,0381$$

$$K3 = \frac{\ln(7094) - \ln(5274)}{1973 - 1964} = 0,0329$$

$$K4 = \frac{\ln(9034) - \ln(7094)}{1986 - 1973} = 0,0186$$

$$K5 = \frac{\ln(10063) - \ln(9034)}{1993 - 1986} = 0,0154$$

$$K6 = \frac{\ln(20714) - \ln(10063)}{2005 - 1993} = 0,0602$$

$$K \text{ Promedio} = \frac{0,0037 + 0,0381 + 0,0329 + 0,0186 + 0,0154 + 0,0602}{6} = 0,0281$$

$$P_{f \text{ 2016}} = 3064 * e^{0,0281*(2016-1993)} = 27521 \text{ Hab}$$

$$P_{f \text{ 2021}} = 3064 * e^{0,0281*(2021-1993)} = 31680 \text{ Hab}$$

$$P_{f \text{ 2026}} = 3064 * e^{0,0281*(2026-1993)} = 36467 \text{ Hab}$$

$$P_{f \text{ 2031}} = 3064 * e^{0,0281*(2031-1993)} = 41977 \text{ Hab}$$

$$P_{f \text{ 2036}} = 3064 * e^{0,0281*(2036-1993)} = 48320 \text{ Hab}$$

$$P_{f \text{ 2041}} = 3064 * e^{0,0281*(2041-1993)} = 55621 \text{ Hab}$$

- Promedio de los resultados de los métodos aplicados para la proyección de la población

En la siguiente tabla se presentan los resultados promedios para los años proyectados de acuerdo a los métodos aplicados para la proyección de la población.

Tabla 4. Proyecciones de los métodos de estimación de la población.

Año	Aritmético	Geométrico	Logarítmico	Promedio
2016	26016	32017	27521	28518
2021	28426	34493	31680	31533
2026	30836	39780	36467	35694
2031	33246	45878	41977	40367
2036	35656	52911	48320	45629
2041	38066	61021	55621	51570

Fuente. Los Autores.

El número de habitantes a utilizar para el cálculo de la demanda de agua es el promedio de los métodos de proyección utilizados para el periodo de diseño es decir, 51570 habitantes.

8.1.2 Consumo total adoptado

En la resolución 2320 de 2009 se determina la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas en $(\frac{L}{hab*dia})$ teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema y el clima del municipio como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Dotación máxima de agua en $(\frac{L}{hab*dia})$ de acuerdo al nivel de complejidad del sistema y al clima del municipio.

Nivel de Complejidad	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado $(L/(hab * dia))$	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido $(L/(hab * dia))$
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente. Resolución 2320 de 2009.

De acuerdo a la relación del nivel de complejidad del sistema y el clima del municipio se considera que el consumo neto domestico es de 125 $(\frac{L}{hab*dia})$, por el motivo de que el nivel de complejidad es medio alto y el clima del municipio de Tabio es frio.

Al consumo neto domestico se le sumo un 25 % debido a las pérdidas que se pueden generar, por el motivo de que un sistema de abastecimiento no se debe considerar 100 % efectivo. En la siguiente tabla se presenta el consumo total adaptado para el municipio de Tabio.

Tabla 6. Consumo total adoptado.

Dotación máxima para el sistema ($L/(hab * dia)$)	% de pérdida técnicas	Consumo total adoptado ($L/(hab * dia)$)
125	25%	156

Fuente. Los Autores.

8.1.3 Demanda de agua

La demanda de agua potable para el municipio se calculó mediante la multiplicación del consumo total adoptado por el promedio de los resultados de los métodos de proyección de población. En la siguiente tabla se presenta la demanda de agua potable para el municipio de Tabio en los distintos años proyectados.

Tabla 7. Demanda de agua para los años proyectados en el municipio de Tabio.

Año	Número de Habitantes proyectados	Consumo total adoptado ($L/(hab * dia)$)	Demanda de agua potable (L/s)
2016	28518	156	47,9
2021	31533	156	53,8
2026	35694	156	60,5
2031	40367	156	68,1
2036	45629	156	76,8
2041	51570	156	86,6

Fuente. Los Autores.

Como resultado de la demanda de agua potable se tiene que para el año 2041 será de 86,6 ($\frac{L}{s}$).

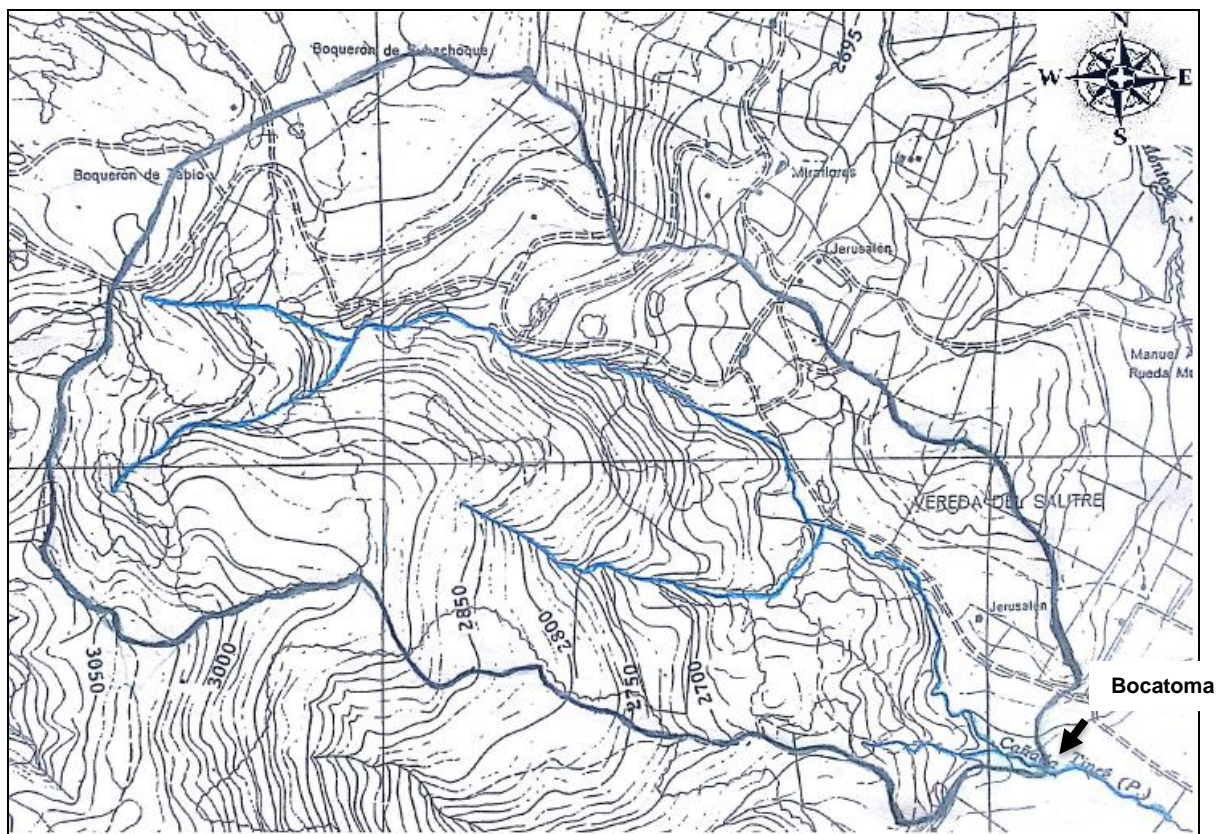
8.2 Análisis hidrológico de la quebrada Tincé

En el análisis hidrológico se estudiarán los siguientes elementos:

8.2.1 Área de la cuenca de la quebrada Tincé

Inicialmente se identificó las coordenadas del punto de la bocatoma por medio del GPS, luego se delimitó la cuenca a partir de la ubicación de las coordenadas en la cartografía teniendo en cuenta las curvas de nivel, y por último se realizó la medición del área mediante la utilización del planímetro obteniendo como resultado un área para la cuenca de 1,207 Km².

Grafico 1. Cuenca hidrográfica de la quebrada Tincé.



Autores: Luis Eduardo Millán González

Luis Alejandro Pedrero Guzmán

Escala: 1: 10000

Fecha: Agosto de 2015

8.2.2 Aforo de la quebrada Tincé

Se realizó en abril de 2016 de la siguiente forma:

Primero se midió el ancho de la quebrada y se dividió en 10 secciones.

$$Dist.puntos = \frac{Ancho\ Quebrada}{10} = \frac{84\ Cm}{10} = 8,4\ Cm$$

Posterior a esto, se introdujo la mira en cada punto para medir la profundidad del cauce, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Relación de distancia y profundidad para la obtención del perfil topográfico.

Puntos	Distancia Ancho (m)	Profundidad (m)
0	0	0
1	0,084	0,090
2	0,168	0,103
3	0,252	0,120
4	0,336	0,130
5	0,420	0,093
6	0,504	0,086
7	0,588	0,056
8	0,672	0,062
9	0,756	0,060
10	0,840	0

Fuente. Los autores.

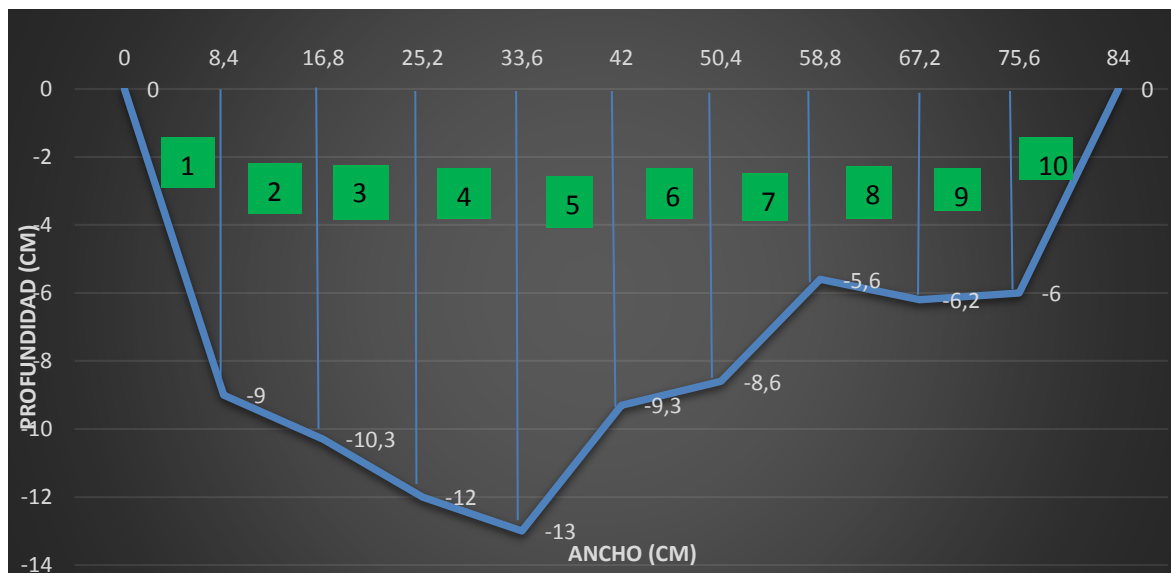
Fotografía 1. *Lectura de la profundidad en cada punto.*



Fuente. Los autores.

Con los datos presentados en la tabla anterior se obtuvo el perfil transversal del cauce en el lugar del aforo mediante la graficación de los puntos, el cual se presenta en el siguiente gráfico.

Grafico 2. Perfil topográfico lugar del aforo.



Fuente. Los autores.

Luego se realizó la medición de la velocidad por medio de un micro molinete en cada uno de los puntos donde se midió la profundidad, obteniendo los siguientes resultados presentes en la siguiente tabla.

Tabla 9. Velocidad obtenida en cada punto.

Puntos	Distancia Ancho (m)	Velocidad (m/s)
1	0,084	0,20
2	0,168	0,30
3	0.252	0,50
4	0,336	0,50
5	0,420	0,70
6	0,504	0,70
7	0,588	0,70
8	0,672	0,40
9	0,756	0,40

Fuente. Los autores.

Fotografía 2. Lectura de la velocidad en cada punto.



Fuente. Los autores.

Posteriormente se realizó el cálculo de cada área, el cual se obtuvo mediante la aplicación de las fórmulas de área para el triángulo y el trapecio, como se presenta a continuación:

$$A_1 = \frac{b * h}{2} = \frac{0,084 * 0,09}{2} = 0,00378 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{B + b}{2} * h = \frac{0,103 + 0,09}{2} * 0,084 = 0,00810 \text{ m}^2$$

Luego se realizó la relación de velocidad para cada área de la siguiente manera:

$$V_1 = \frac{2}{3} * V_2 \text{ aforo} = \frac{2}{3} * 0,20 = 0,13 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{V_2 \text{ aforo} + V_1 \text{ aforo}}{2} = \frac{0,30 + 0,20}{2} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \frac{V_3 \text{ aforo} + V_2 \text{ aforo}}{2} = \frac{0,50 + 0,30}{2} = 0,40 \text{ m/s}$$

$$V_{10} = \frac{2}{3} * V_9 \text{ aforo} = \frac{2}{3} * 0,20 = 0,27 \text{ m/s}$$

Luego se realizó el cálculo de los caudales para cada área de acuerdo a las velocidades y áreas obtenidas previamente, lo cual se realizó de la siguiente manera:

$$Q_1 = A_1 * V_1 = 0,00378 * 0,13 = 0,504 \text{ L/s}$$

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las velocidades y caudales para cada área.

Tabla 10. Caudal total del aforo.

Puntos	Velocidad Aforo (m/s)	Área (m) ²	Velocidad Área (m/s)	Caudal (L/s)
1	0,2	0,00378	0,13	0,50
2	0,3	0,00811	0,25	2,03
3	0,5	0,00937	0,40	3,75
4	0,5	0,01050	0,50	5,25
5	0,7	0,00937	0,60	5,62
6	0,7	0,00752	0,70	5,26
7	0,7	0,00596	0,70	4,17
8	0,4	0,00496	0,55	2,73
9	0,4	0,00512	0,40	2,05
10		0,00252	0,27	0,67
Σ Área		0,06720	Σ Caudal	32,03

Fuente. Los Autores.

Como resultado del aforo se obtuvo un caudal de 32,03 ($\frac{L}{s}$).

8.2.3 Rendimiento hídrico de la cuenca de la quebrada Tincé

Según el estudio nacional del agua realizado por el IDEAM en el año 2015 se presenta un rendimiento para el área de Cundinamarca de 15 a 20 ($\frac{L}{Km^2}$). De acuerdo al caudal obtenido en el aforo y el área de la cuenca, se calculó el rendimiento de la cuenca de la quebrada Tincé de la siguiente forma:

$$R = \frac{Q_{Aforo} \left(\frac{L}{s}\right)}{A_{Cuenca} (Km^2)} = \frac{32,03}{1,207} = \frac{26,54 \frac{L}{s}}{Km^2}$$

Al analizar el resultado del rendimiento obtenido para la quebrada Tincé con respecto al rendimiento presentado por el IDEAM para Cundinamarca, se determina

que la cuenca tiene un rendimiento mayor al rendimiento presentado por el IDEAM, por ende la cuenca cuenta con una oferta hídrica alta.

8.2.4 Curva de duración de caudales quebrada Tincé

Indica la variación de los caudales en un determinado porcentaje de tiempo. En este caso se definirá el caudal de diseño para el sistema de abastecimiento de acuerdo a esta curva, por el motivo de que el caudal de la quebrada no supera la demanda de agua para el año 2041.

A continuación, se presenta el procedimiento para la elaboración de la curva de duración de caudales:

Inicialmente se buscaron los caudales medios de la quebrada Tincé de los últimos años, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11. Caudales medios de quebrada Tincé (m³/s).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	0,042	0,032	0,033	0,033	0,041	0,032	0,033	0,043	0,041	0,033	0,032	0,032
2008	0,040	0,038	0,033	0,040	0,035	0,038	0,042	0,050	0,050	0,040	0,024	0,033
2009	0,035	0,031	0,038	0,034	0,037	0,031	0,038	0,041	0,039	0,034	0,039	0,037
2010	0,032	0,040	0,042	0,028	0,031	0,029	0,036	0,033	0,039	0,031	0,024	0,036
2011	0,039	0,025	0,029	0,026	0,042	0,036	0,025	0,034	0,025	0,034	0,041	0,037
2012	0,027	0,038	0,039	0,032	0,038	0,037	0,033	0,037	0,034	0,041	0,032	0,034
2013	0,040	0,035	0,037	0,038	0,036	0,033	0,022	0,034	0,031	0,033	0,033	0,038
2014	0,035	0,032	0,035	0,040	0,040	0,041	0,024	0,033	0,034	0,033	0,036	0,032

Fuente. CAR.

Luego se realizó la tabla de frecuencias para datos agrupados con los caudales medios presentados en la tabla anterior.

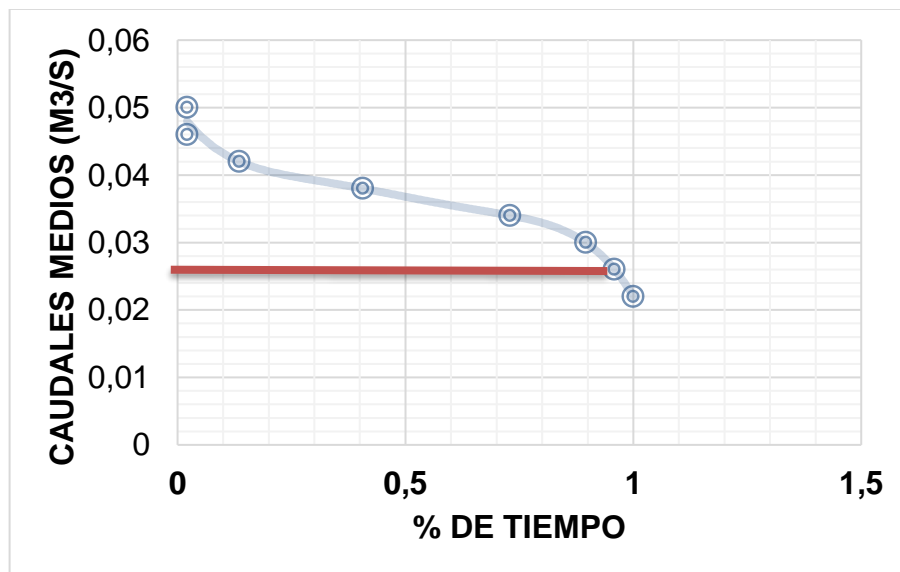
Tabla 12. Frecuencia de caudales.

Intervalos	Rangos		Caudal Promedio	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa
1	0,020	0,024	0,022	4	96	100%
2	0,024	0,028	0,026	6	92	96%
3	0,028	0,032	0,030	16	86	90%
4	0,032	0,036	0,034	31	70	73%
5	0,036	0,04	0,038	26	39	41%
6	0,040	0,044	0,042	11	13	14%
7	0,044	0,048	0,046	0	2	2%
8	0,048	0,052	0,050	2	2	2%

Fuente. Los autores.

Por último se realizó la gráfica de las columnas de caudal promedio y frecuencia relativa presentadas en la tabla anterior, para así obtener la curva de duración de caudales la cual se presenta en el siguiente gráfico.

Grafico 3. Curva de duración de caudales quebrada Tincé



Fuente. Los autores.

Del análisis realizado a la curva de duración de caudales, se opta a realizar el diseño del sistema de abastecimiento con el caudal que se presenta en el 95 % del tiempo, el cual equivale $0,027 \left(\frac{m^3}{s}\right)$, es decir que en un 5 % del tiempo se tendrá un caudal inferior a $0,027 \left(\frac{m^3}{s}\right)$.

8.3 Diagnóstico del sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento de la quebrada Tincé opera a un caudal de $18 \left(\frac{L}{s}\right)$. A continuación se mencionan las características de cada uno de los procesos:

8.3.1 Captación

La captación de agua del sistema consta de dos partes: un muro de contención y una bocatoma fondo.

El muro de contención tiene 41 *Cm* de altura y 66 *Cm* de ancho, cuenta con una rejilla para separar los sólidos de mayor tamaño y está ubicado aguas arriba de la bocatoma.

Fotografía 3. Muro de contención.



Fuente. Los autores.

La bocatoma de fondo tiene 3 *m* de ancho, cuenta con una rejilla de hierro de 1,2 *m* por 0,55 *m*, con varillas de 1" separadas entre sí 0,01 *m* como se muestra en la siguiente imagen.

Fotografía 4. Bocatoma de fondo.



Fuente. Los autores.

La cámara recolectora se encuentra al lado derecho de la bocatoma y sus dimensiones son de 1,1 *m* de ancho por 2,8 *m* de altura.

Fotografía 5. Cámara recolectora.



Fuente. Los autores.

8.3.2 Aducción

La aducción del sistema consta de dos partes:

- Presa de contención

En ella se encuentran dos tuberías de PVC: una tiene 4" de diámetro, 448,9 m de largo y maneja un caudal aproximado de $7 \left(\frac{L}{s}\right)$, el cual va directo a la planta de potabilización por medio de la gravedad, el otro es de 3" de diámetro, 44,3 m de largo y maneja un caudal aproximado de $4 \left(\frac{L}{s}\right)$ el cual va al desarenador por medio de la gravedad.

Fotografía 6. Tubería de aducción en la presa de contención.



Fuente. Los autores.

- Cámara recolectora

En ella se encuentra un tubo de PVC de 4" de diámetro, 20 m de largo y maneja un caudal aproximado de 7 ($\frac{L}{s}$) el cual va al desarenador.

Fotografía 7. Tubería de aducción de la cámara recolectora.



Fuente. Los autores.

8.3.3 Desarenador

La estructura del desarenador es de 8 m de largo por 2,1 m de ancho, con una profundidad de 1,5 m a la entrada y una profundidad de 2 m a la salida.

La zona de entrada la constituye una cámara de aquietamiento con una profundidad de 1,2 m y un ancho de 0,25 m, provista de un vertedero de 2,1 m.

La zona de salida está conformada por un vertedero de 2,1 m de largo y una cámara de 0,37 m de largo por 0,9 m de profundidad donde se recolecta el agua desarenada.

Tabla 13. *Funcionamiento del desarenador.*

Caudal de operación (L/s)	17,8
Área (m²)	16,8
Carga de funcionamiento (m³/m² * día)	91,6
Volumen (m³)	25,2
Tiempo de retención (min)	23
Eficiencia (%)	80
Diámetro de partículas removidas Arena gruesa (Cm)	0,075

Fuente. Los autores.

Fotografía 8. Desarenador.



Fuente. Los autores.

8.4 Diseño de la red de abastecimiento

8.4.1 Caudales de diseño

Para realizar el diseño del sistema de abastecimiento, es necesario identificar los siguientes caudales:

- Caudal promedio diario

Para este caso el caudal promedio diario será de $27 \left(\frac{L}{s}\right)$, por el motivo de es el caudal que se presentara en el 95 % del tiempo según el análisis realizado en la curva de duración de caudales para la quebrada Tincé.

- Caudal máximo diario

Para el cálculo primero se determinó el factor de mayoracion (K_1), el cual para poblaciones con más de 12500 habitantes es de 1,2 (RAS, 2000), luego se multiplico este valor por el caudal promedio diario.

Tabla 14. Caudal máximo diario.

Caudal promedio diario (L/s)	Factor de mayoración (K_1)	Caudal máximo diario (L/s)
27	1,2	32,4

Fuente. Los autores.

- Caudal máximo horario

Para el cálculo primero se determinó el factor de mayoración (K_2), el cual para poblaciones con más de 20000 habitantes es de 1,5 (RAS, 2000), luego se multiplico este valor por el caudal máximo diario.

Tabla 15. Caudal máximo horario.

Caudal máximo diario (L/s)	Factor de mayoración (K_2)	Caudal máximo horario (L/s)
32,4	1,5	48,6

Fuente. Los autores.

8.4.2 Captación

La propuesta de diseño de la captación de la red de abastecimiento constara de una bocatoma de fondo, cuyos cálculos y diseño se presentan a continuación:

Información previa del lugar de captación:

- Periodo de diseño = 25 años
- Caudal de diseño = $0,3510 (m^3/s)$
- Caudal máximo de la quebrada = $0,3240 (m^3/s)$
- Caudal medio de la quebrada = $0, (m^3/s)$
- Caudal máximo diario = $0,3240 (m^3/s)$
- Caudal medio diario = $0,27 (m^3/s)$
- Ancho de la presa = $2,0 (m)$

Diseño:

La lámina de agua en las condiciones de diseño es de:

$$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,035}{1,84 * 2} \right)^{2/3} = 0,045 \text{ m}$$

Velocidad del río sobre la presa:

$$V = \frac{Q}{L * H} = \frac{0,035}{2 * 0,045} = 0,39 \text{ m/s}$$

$$0,3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) < 0,39 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) < 3,0 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \text{ok}$$

Diseño de la rejilla y canal de aducción

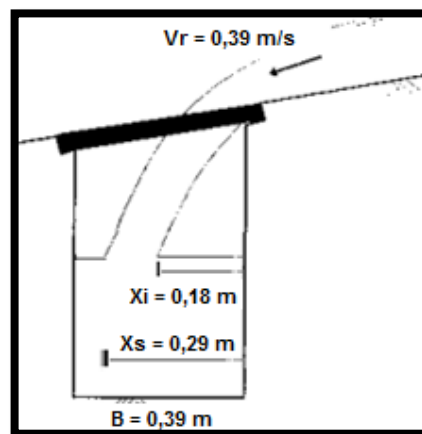
Ancho del canal de aducción (B):

$$X_s = 0,36 * V r^{2/3} + 0,60 * H^{4/7} = 0,36 * 0,39^{2/3} + 0,60 * 0,045^{4/7} = 0,29 \text{ m}$$

$$X_i = 0,18 * V r^{4/7} + 0,74 * H^{3/4} = 0,18 * 0,39^{4/7} + 0,60 * 0,045^{3/4} = 0,18 \text{ m}$$

$$B = X_s + 0,10 = 0,29 + 0,10 = 0,39 \text{ m}$$

Grafico 4. Canal de aducción.



Fuente. Los autores.

Longitud de la rejilla y número de orificios

Se adoptan barrotes de $\left(\frac{1}{2}\right)$ " con una separación entre ellos de 0,02 m. Por otra parte, se supone la velocidad entre barrotes igual a 0,33 $\left(\frac{m}{s}\right)$.

$$An = \frac{Q}{0,9 * Vb} = \frac{0,035}{0,9 * 0,18} = 0,217 m^2$$

$$Lr = \left(\frac{An * (a + b)}{a * B} \right)$$

$$Lr = \left(\frac{0,217 * (0,02 + 0,0127)}{0,02 * 0,39} \right) = 0,897m$$

Se adopta 0.9 m de longitud de rejilla. Recalculando, se tiene:

$$An = \frac{a}{a + b} * B * Lr = \frac{0,02}{0,02 + 0,0127} * 0,39 * 0.9 = 0,22 m^2$$

El número de orificios es de:

$$N = \frac{An}{a * B} = \frac{0,22}{0,02 * 0,39} = 27,523 \text{ orificios}$$

Se adoptan 28 orificios, separados entre sí 2 Cm, con lo que se obtienen las siguientes condiciones finales:

$$An = 0,02 * 0,39 * 28 = 0,221 m^2$$

Se adopta un área de 0,22 m².

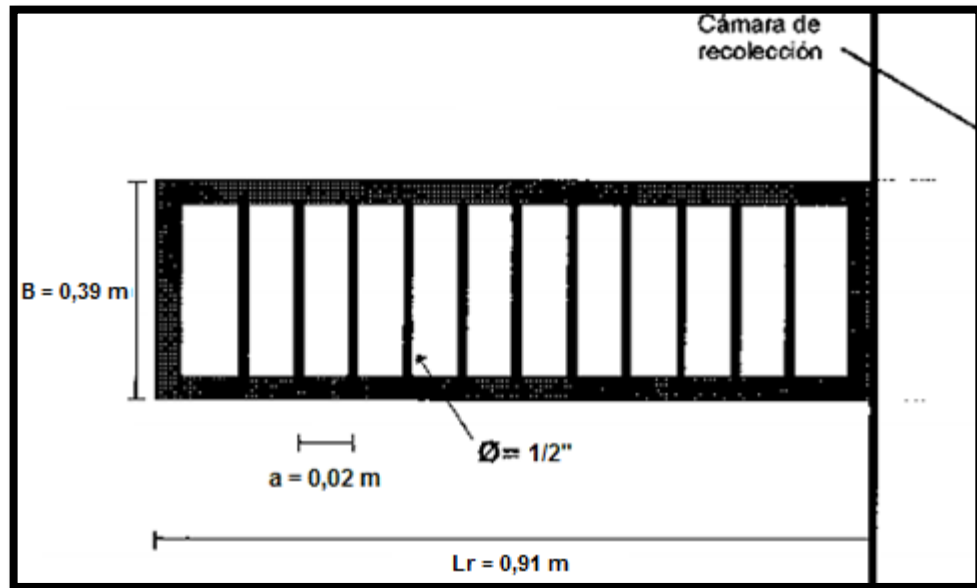
$$V = \frac{0,035}{0,9 * 0,22} = 0,177 m/s$$

$$Lr = \left(\frac{0,28 * (0,02 + 0,0127)}{0,02 * 0,22} \right) = 0,91 m$$

Longitud del canal, se adopta un espesor del muro de 0,3 m.

$$L_c = L_r + E_m = 1,91m + 0,3 m = 1,21116 m$$

Grafico 5. Rejilla.



Fuente. Los autores.

Los niveles de agua en el canal de aducción son:

- Aguas abajo:

$$h_e = h_c = \left(\frac{Q^2}{g * B^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{0,035}{0,39 * } \right)^{1/3} = 0,093 m$$

Se adopta un espesor del muro de 0,3 m, una pendiente del 3 % y un borde libre de 0,15 m.

- Aguas arriba:

$$h_o = \left\{ 2 * h_e^2 + \left(h_e - \frac{i * L_c}{3} \right)^2 \right\}^{1/2} - \frac{2}{3} * i * L_c$$

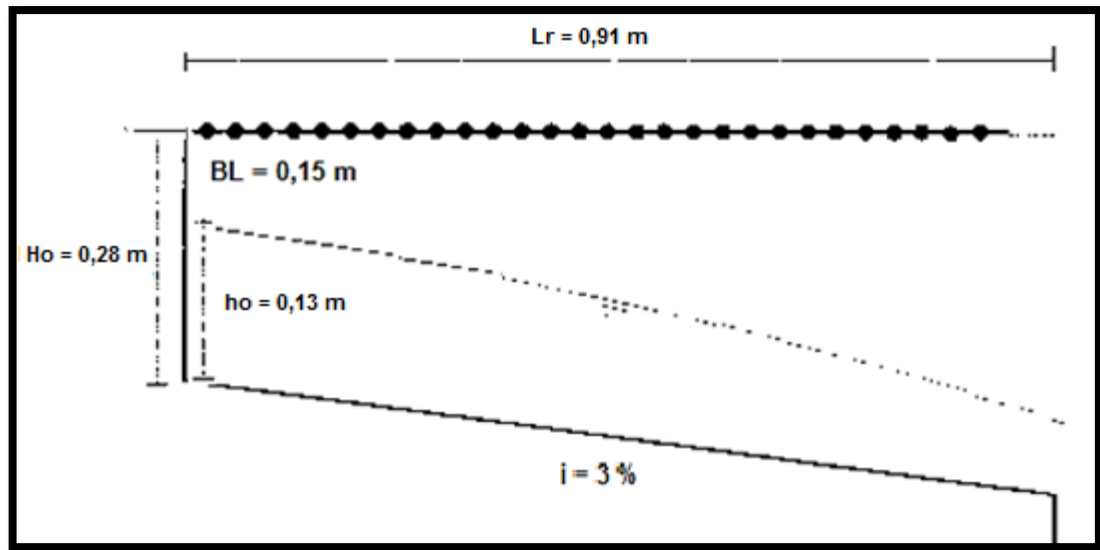
$$h_o = \left\{ 2 * 0,093^2 + \left(0,093 - \frac{0,03 * 1,211}{3} \right)^2 \right\}^{1/2} - \frac{2}{3} * 0,03 * 1,211 = 0,13 \text{ m}$$

La altura total de los muros del canal de aducción es:

$$H_o = h_o + BL = 0,13 + 0,15 = 0,28 \text{ m}$$

$$H_e = H_o + i * L_c = 0,28 + 0,03 * 1,211 = 0,31 \text{ m}$$

Grafico 6. Canal de aducción.



Fuente. Los autores.

La velocidad del agua al final del canal es:

$$V_e = \frac{Q}{B * h_e} = \frac{0,109}{0,51 * 0,168} = 0,95 \text{ m/s}$$

$$0,3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)' < 1,28 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)' < 3,0 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)' \text{ OK}$$

Diseño de la cámara de recolección

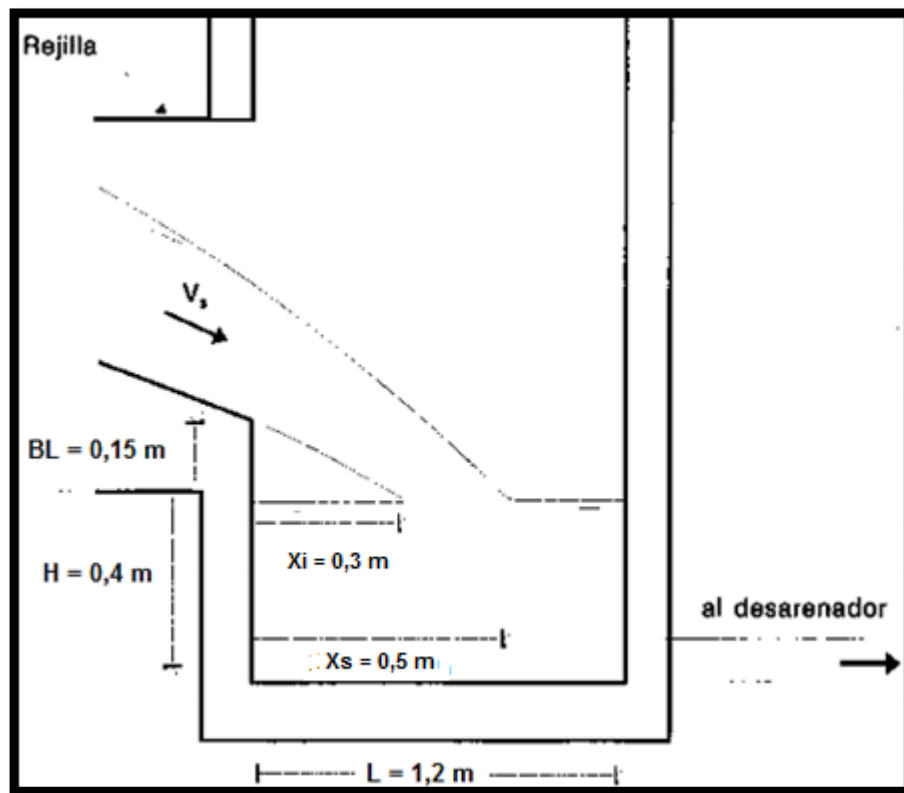
$$X_s = 0,36 * V_e^{2/3} + 0,60 * h_e^{4/7} = 0,36 * 1,950,95^{2/3} + 0,60 * 0,93^{4/7} = 0,504 \text{ m}$$

$$X_i = 0,18 * V e^{4/7} + 0,74 * h e^{3/4} = 0,18 * 0,95^{4/7} + 0,60 * 0,93^{3/4} = 0,300 \text{ m}$$

Por facilidad de acceso y mantenimiento, se adopta una cámara de 1,20 m de ancho por 1,5 m de lado.

El borde libre de la cámara es de 15 Cm, por lo que el fondo de la cámara estará a 55 Cm por debajo de la cota del fondo del canal de aducción a la entrega (suponiendo una cabeza libre de 0,40 m).

Grafico 7. Cámara de recolección.



Fuente. Los autores.

Cálculo de la altura de los muros de contención

Tomando el caudal máximo del río de $0,05 \left(\frac{m^3}{s}\right)$, la altura de la lámina de agua en la garganta de la bocatoma es:

$$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,05}{1,84 * 2,0} \right)^{2/3} = 0,046 \text{ m}$$

Se adopta un borde libre de 0,3 m.

$$\text{Altura muros de contencion} = H + BL = 0,056 + 0,3 = 0,357 \text{ m}$$

Cálculo del caudal de excesos

Dentro de las condiciones iniciales del diseño, se ha supuesto un caudal medio del río de $0,36 \left(\frac{m^3}{s} \right)$. La altura de la lámina de agua en la garganta y el caudal de excesos son:

$$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,036}{1,84 * 2,0} \right)^{2/3} = 0,046 \text{ m}$$

$$Q_{captado} = Cd * An * \sqrt{2 * g * H} = 0,3 * 0,22 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,046} = 0,63 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{excesos} = Q_{captado} - Q_{diseñado} = 0,63 - 0,035 = 0,027 \text{ m}^3/s$$

Las condiciones en el vertedero de excesos serán:

$$H_{exc} = \left(\frac{Q}{1,84 * B_{camara}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,027}{1,84 * 1,2} \right)^{2/3} = 0,054 \text{ m}$$

$$V_{exc} = \frac{Q_{exc}}{H_{exc} * B_{camara}} = \frac{0,045}{0,075 * 1,2} = 0,43 \text{ m/s}$$

$$Xs = 0,36 * V_{exc}^{2/3} + 0,60 * H_{exc}^{4/7} = 0,36 * 0,43^{2/3} + 0,60 * 0,054^{4/7} = 0,32 \text{ m}$$

El vertedero de excesos estará colocado a 0,61 m (0,32 + 0,29) de la pared de aguas abajo de la cámara de recolección y quedando aguas arriba del mismo una distancia de 0,73 m (1,5 m – 0,61 m).

[illegible]

Para el cálculo de las cotas se parte de la cota del fondo de la quebrada en el punto de captación, luego se suman y se restan las alturas de cada una de las partes de la bocatoma como se muestra en la siguiente tabla.

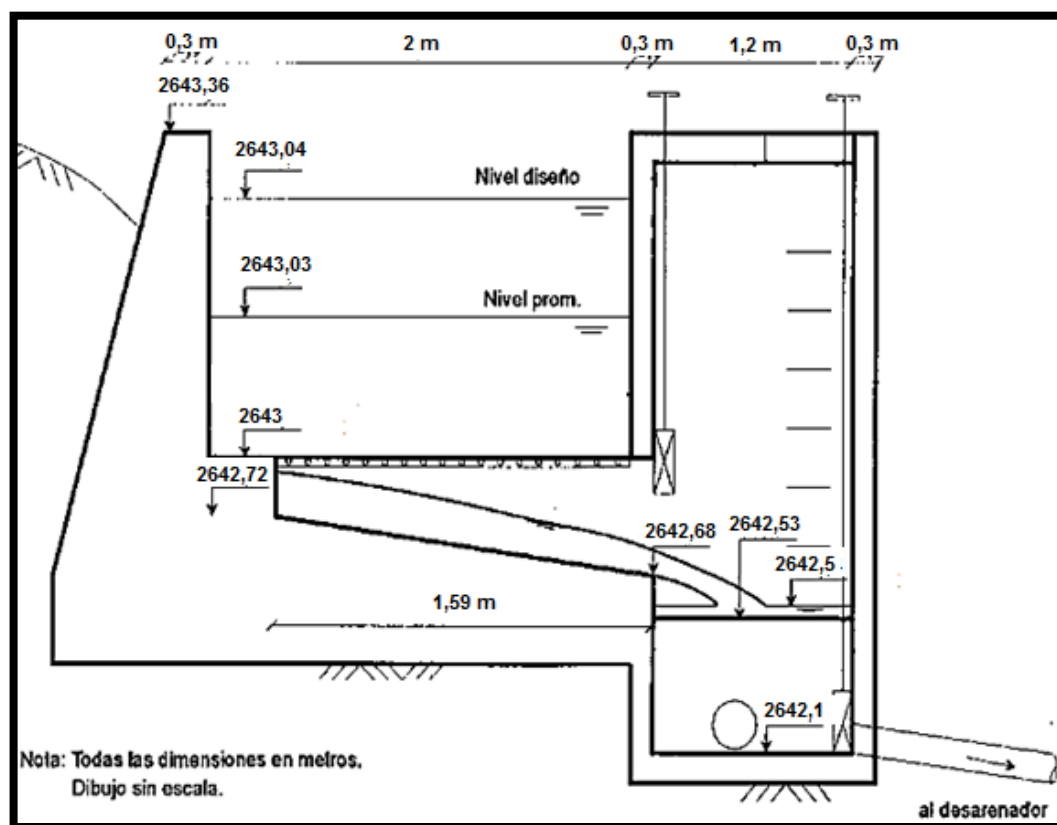
Tabla 16. Cotas de la bocatoma (msnm).

Fondo del rio en la captación		2643
Lamina sobre la presa	Diseño	2643,04
	Máxima	2643,06
	Promedio	2643,03
Corona de los muros de contención		2643,36
Canal de aducción	Fondo aguas arriba	2642,72
	Fondo aguas abajo	2642,68
Cámara de recolección	Lámina de agua	2642,53
	Cresta del vertedero de excesos	2642,50
	Fondo	2642,10

Fuente. Los autores.

En el siguiente grafico se presenta las dimensiones del diseño de la bocatoma con sus respectivas cotas de acuerdo a la altitud del lugar donde será ubicado.

Grafico 9. Resultados del diseño de la bocatoma. Corte B-B.



Fuente. Los autores.

8.4.3 Aducción

La propuesta de diseño de la aducción bocatoma-desarenador de la red de abastecimiento se realizará por medio de una tubería de PVC, cuyo diseño se presenta a continuación:

Información previa del lugar de captación:

- Caudal de diseño = $35,10 \left(\frac{L}{s}\right)$
- Coeficiente de rugosidad del PVC ($n = 0,009$)
- Longitud de la aducción = 20 m
- Cota de fondo de la cámara recolectora = $2642,06 \text{ msnm}$

- Cota de la lámina de agua en la llegada al desarenador = 2641,72 *msnm*

Con los datos anteriores se procede a calcular la pendiente y el diámetro de la tubería correspondiente:

$$S = \frac{\text{Cota camara} - \text{Cota desarenador}}{\text{Longitud aduccion}} * 100 = \frac{2642,06 - 2641,72}{20} * 100 = 2,44\%$$

$$D = 1,548 * \left(\frac{n * Q}{S^{1/2}} \right)^{3/8} = 1,548 * \left(\frac{0,009 * 0,35}{0,0244^{1/2}} \right)^{3/8} = 0,151m = 6"$$

Se elige un diámetro para la tubería de aducción de 6 = 0,151 *m*.

Condiciones de flujo a tubo lleno:

$$Q_o = 0,312 * \left(\frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \right) = 0,312 * \left(\frac{0,151^{8/3} * 0,244^{1/2}}{0,009} \right) = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_o = \frac{Q_o}{A_o} = \frac{0,035 * 4}{3,1416 * 0,52} = 1,97 \text{ m/s}$$

$$R_o = \frac{A_o}{P_o} = \frac{\pi * D^2}{4 * \pi * D} = \frac{D}{4} = \frac{0,152}{4} = 0,038 \text{ m}$$

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{0,035}{0,035} = 0,98$$

$$\frac{V_r}{V_o} = 1,027$$

$$\frac{d}{D} = 0,852$$

$$V_r = 1,027 * V_o = 1,027 * 1,97 = 2,02 \text{ m/s} > 0,6$$

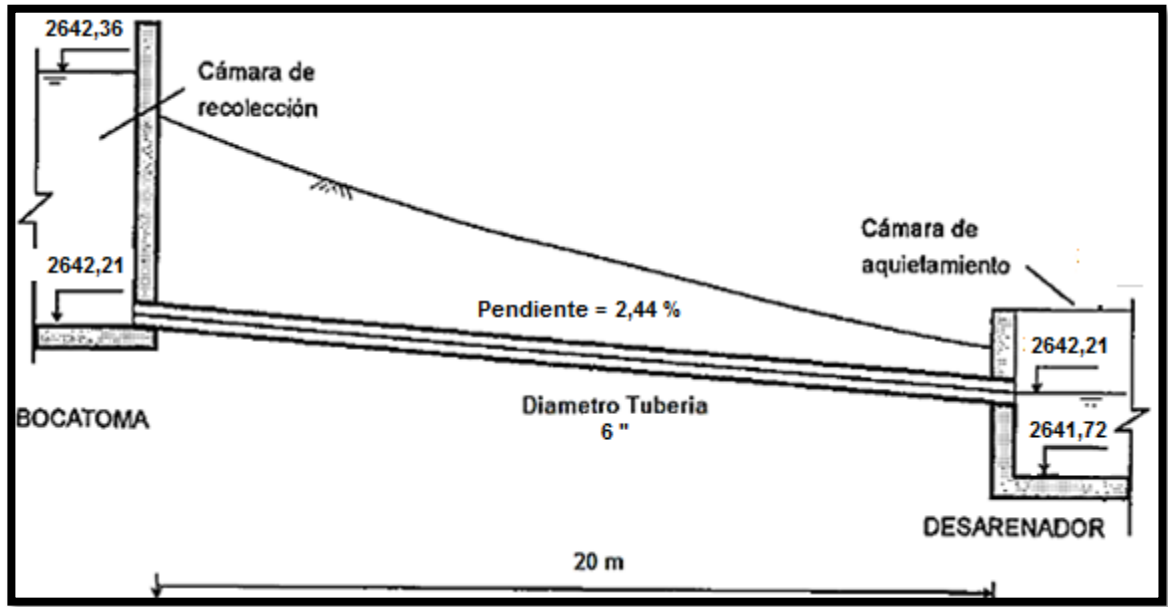
$$d = 0,852 * D = 0,852 * 0,15 = 0,130 \text{ m}$$

El caudal de excesos debe ser considerado en el diseño de la estructura de excesos del desarenador. Caudal de exceso previsto:

$$Q_{\text{exceso}} = Q_{\text{lleno}} - Q_{\text{diseño}} = 0,036 - 0,035 = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$$

En el siguiente grafico se presentan los resultados finales de la aducción bocatoma-desarenador con sus respectivas cotas.

Grafico 10. Perfil de la aducción bocatoma-desarenador.



Fuente. Los autores.

8.4.4 Desarenador

La propuesta de diseño del desarenador se presenta a continuación:

- Condiciones de la tubería de entrada

$$Q = 0,035 \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad Q_0 = 0,036 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$V = 2,02 \left(\frac{m}{s} \right) \quad V_0 = 1,97 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$D = 0,15 \text{ m} \quad d = 0,13 \text{ m}$$

- Condiciones de diseño del desarenador

Periodo de diseño: 25

Numero de módulos: 2

Caudal medio diario: $27 \left(\frac{L}{s}\right)$

Caudal máximo diario: $32,40 \left(\frac{L}{s}\right)$

Caudal medio diario Año 2016: $27 \left(\frac{L}{s}\right)$

Requerimiento de agua en la planta de purificación: $1,1 \left(\frac{L}{s}\right)$

Caudal de diseño en cada módulo: $27 \left(\frac{L}{s}\right)$

Remoción de partícula de diámetro: $0,04 \text{ mm}$

Densidad arena = 2,65

Densidad agua = 1,00

Porcentaje de remoción: 80 %

Temperatura: $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Viscosidad cinemática: $0,01112 \text{ (Cm}^2/\text{s)}$

Grado del desarenador: $n=1$ sin deflector

Relación Longitud - Ancho = 2:1

Cota de la lámina en la tubería a la entrada al desarenador: $2642,06 \text{ msnm}$

Cota de la batea en la tubería a la entrada del desarenador: $2641,72 \text{ msnm}$

Cota de la corona de muros: $2642,36 \text{ msnm}$

- Calculo de los parámetros de sedimentación

Velocidad de sedimentación de la partícula, $d = 0,04 \text{ mm}$

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} * d^2 = \frac{981}{18} * \frac{(2,65 - 1)}{0,01112} * 0,004^2 = 0,13 \text{ m/s}$$

Para $n = 1$ y remoción del 80%

$$\frac{\emptyset}{t} = 4$$

Suponiendo la profundidad útil de sedimentación, $H = 1,8 \text{ m}$. El tiempo que tardaría la partícula de diámetro de 0,04 mm en llegar fondo sería:

$$t = \frac{H}{V_s} = \frac{180}{0,13} = 1391 \text{ s}$$

El periodo de retención hidráulico será:

$$\emptyset = 4 * t = 4 * 1391 = 5564 \text{ s} = 1,55 \text{ hr} \quad (0,5 < \emptyset < 4 \text{ hr})$$

El volumen del tanque será:

$$V = \emptyset * Q = 5564 * 0,035 = 150,25 \text{ m}^3$$

El área superficial del tanque es:

$$A_s = \frac{V}{H} = \frac{150,25}{1,8} = 83,47 \text{ m}^2$$

Las dimensiones del tanque para $L : B$ 2:1 serán:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{2}} = \sqrt{\frac{150,25}{2}} = 6,46 \text{ m}$$

$$L = 4 * B = 4 * 6,46 = 12,92 \text{ m}$$

La carga hidráulica superficial para este tanque deberá estar comprendida entre 15 y $80 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * \text{dia}$:

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{0,035}{83,47} = 0,00032 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{s} = 0,0032 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{dia}$$

Como se demostró anteriormente, la carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica (V_o), la cual debe corresponder a la de un diámetro menor:

$$V_o = q = 0,00032 \text{ m/s} = 0,03 \text{ cm/s}$$

$$d_o = \sqrt{\frac{V_o * 18 * \mu}{g * (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{0,03 * 18 * 0,01112}{981 * (2,65 - 1)}} = 0,002 \text{ cm} = 0,02 \text{ mm}$$

La relación de tiempos es igual a la relación de velocidades, es decir:

$$\frac{\emptyset}{t} = \frac{V_s}{V_o} = \frac{0,13}{0,032} = 4$$

En resumen en las condiciones teóricas se removerían partículas hasta un diámetro igual a 0,02 mm.

La velocidad horizontal será:

$$V_h = \frac{V_o * L}{H} = \frac{0,03 * 12,92}{1,8} = 0,232 \text{ cm/s}$$

La velocidad horizontal máxima es:

$$V_h \text{ max} = 20 * V_s = 20 * 0,13 = 2,59 \text{ cm/s}$$

La velocidad de suspensión máxima es:

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * K}{f} * g * (\rho_s - \rho) * d} = \sqrt{\frac{8 * 0,04}{0,03} * 981 * (2,65 - 1) * 0,004} = 8,31 \text{ cm/s}$$

- Condiciones de los elementos del desarenador
- Vertedero de salida

$$Hv = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,035}{1,84 * 6,46} \right)^{2/3} = 0,02 \text{ m}$$

$$Vv = \frac{Q}{B * Hv} = \frac{0,035}{6,46 * 0,03} = 0,24 \text{ m/s}$$

$$Xs = 0,36 * Vv^{2/3} + 0,60 * Hv^{4/7} = 0,36 * 0,24^{2/3} + 0,60 * 0,03^{4/7} = 0,20 \text{ m}$$

➤ Pantalla de salida

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Distancia al vertedero de salida} = 15 * Hv = 15 * 0,02 = 0,26 \text{ m}$$

➤ Pantalla de entrada

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Distancia en la camara de aquietamiento} = \frac{L}{4} = \frac{12,92}{4} = 3,23 \text{ m}$$

➤ Almacenamiento de lodos

$$\text{Relacion longitud: prof. lodos} = 10$$

$$\text{Profundidad maxima} = \frac{L}{\text{Relacion longitud: prof. lodos}} = \frac{12,92}{10} = 1,292 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad maxima adoptada} = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad minima adoptada} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Dist. pto de salida a la camara de aquietamiento} = \frac{L}{3} = \frac{12,92}{3} = 4,31 \text{ m}$$

$$\text{Dist. pto. de salida al vertedero salida} = \frac{2 * L}{3} = \frac{2 * 22,8}{3} = 15,2 \text{ m}$$

$$Pendiente transversal = \frac{Prof.max. - Prof.min.}{B} * 100 = \frac{1,3 - 1}{6,46} * 100 = 4,64 \%$$

$$Pendiente long. \left(\frac{L}{3}\right) = \frac{Prof.max. - Prof.min.}{L/3} * 100 = \frac{1,3 - 1}{4,31} * 100 = 6,97 \%$$

$$Pendiente long. \left(2 * \frac{L}{3}\right) = \frac{Prof.max. - Prof.min.}{2 * L/3} * 100 = \frac{1,3 - 1}{8,61} * 100 = 3,48 \%$$

➤ Cámara de aquietamiento

$$Profundidad = \frac{H}{3} = \frac{1,8}{3} = 0,6 m$$

$$Ancho = \frac{B}{3} = \frac{6,46}{3} = 2,15 m$$

$$Largo adoptado = 2,3 m$$

➤ Rebose de la cámara de aquietamiento

$$Q_{exceso} = Q_{lleno} - Q_{diseño} = 0,036 - 0,035 = 0,001 \text{ m}^3/s$$

$$He = \left(\frac{Q_{excesos}}{1,84 * Le}\right)^{2/3} = \left(\frac{0,001}{1,84 * 2,3}\right)^{2/3} = 0,003 m$$

$$Ve = \frac{Q_{excesos}}{He * Le} = \frac{0,008}{0,016 * 2,3} = 0,23 \text{ m/s}$$

$$Xs = 0,36 * Ve^{2/3} + 0,60 * He^{4/7} = 0,36 * 0,10^{2/3} + 0,60 * 0,03^{4/7} = 0,10 m$$

- Perfil hidráulico

El perfil hidráulico se establece para las condiciones de funcionamiento con un módulo que trabaja con un caudal:

$$Q = Q_{max. diario} + necesidades planta purificacion$$

$$Q = 32,40 + 1,1 = 0,0335 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Perdidas en la entrada a la cámara de aquietamiento

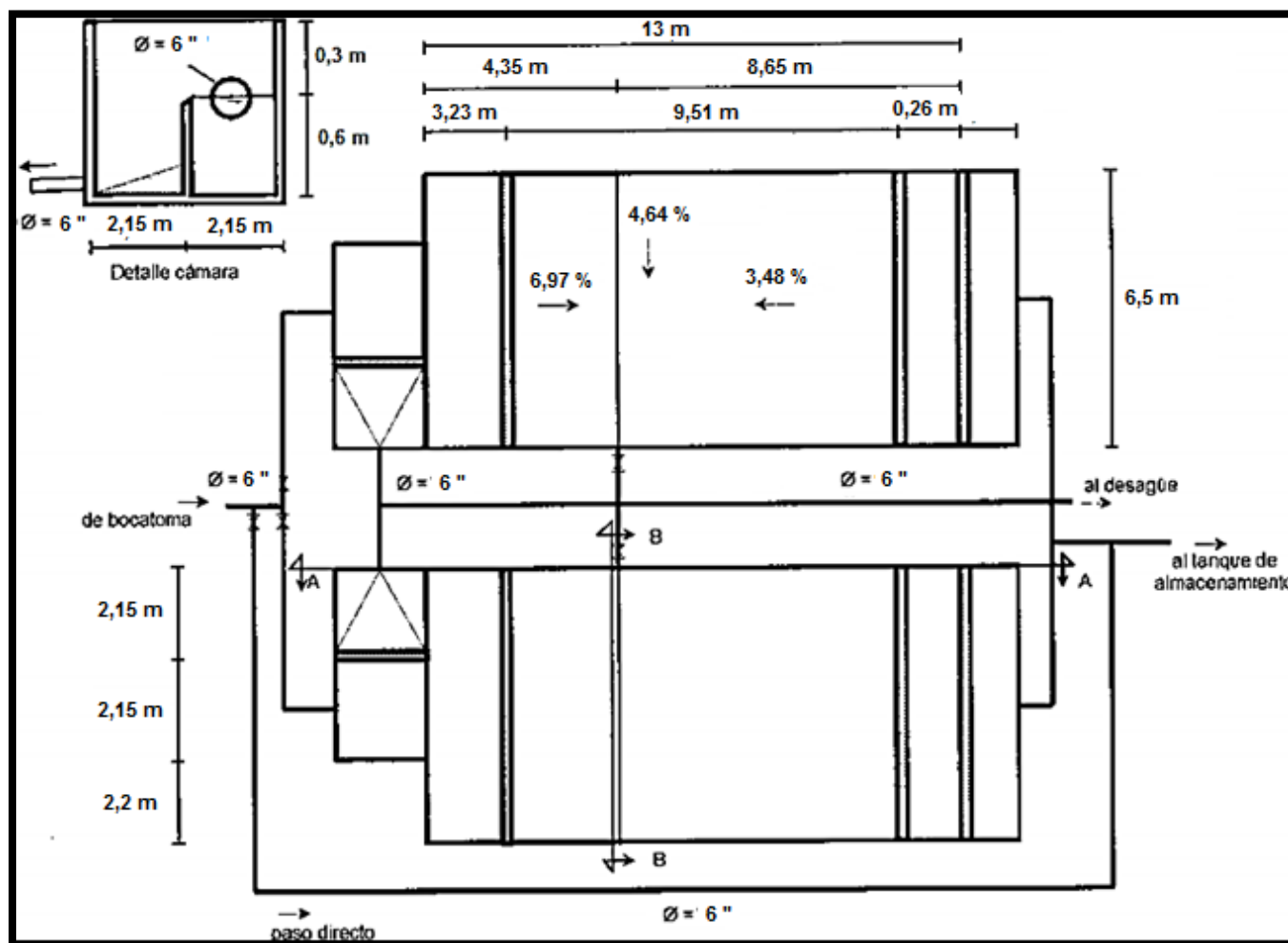
$$V1 = 2,018 \text{ m/s} \quad K = 0,2$$

$$V2 = \frac{Q}{\text{Ancho camara aquie.} * \text{prof. camara aquie.}} = \frac{0,035}{2,15 * 0,6} = 0,026 \text{ m/s}$$

$$hm = K * \left(\frac{V1^2 - V2^2}{2 * g} \right) = 0,2 * \left(\frac{2,018^2 - 0,026^2}{2 * 9,81} \right) = 0m$$

En el siguiente grafico se presenta el corte planta del desarenador con los respectivos resultados del diseño.

Grafico 11. Resultados del diseño del desarenador. Planta.



Fuente. Los autores.

Para el cálculo de las cotas se parte de la cota de batea de la tubería de entrada y de la cota lámina de agua en la tubería de entrada, luego se suman y se restan las alturas de cada una de las partes calculadas del desarenador como se muestra en la siguiente tabla.

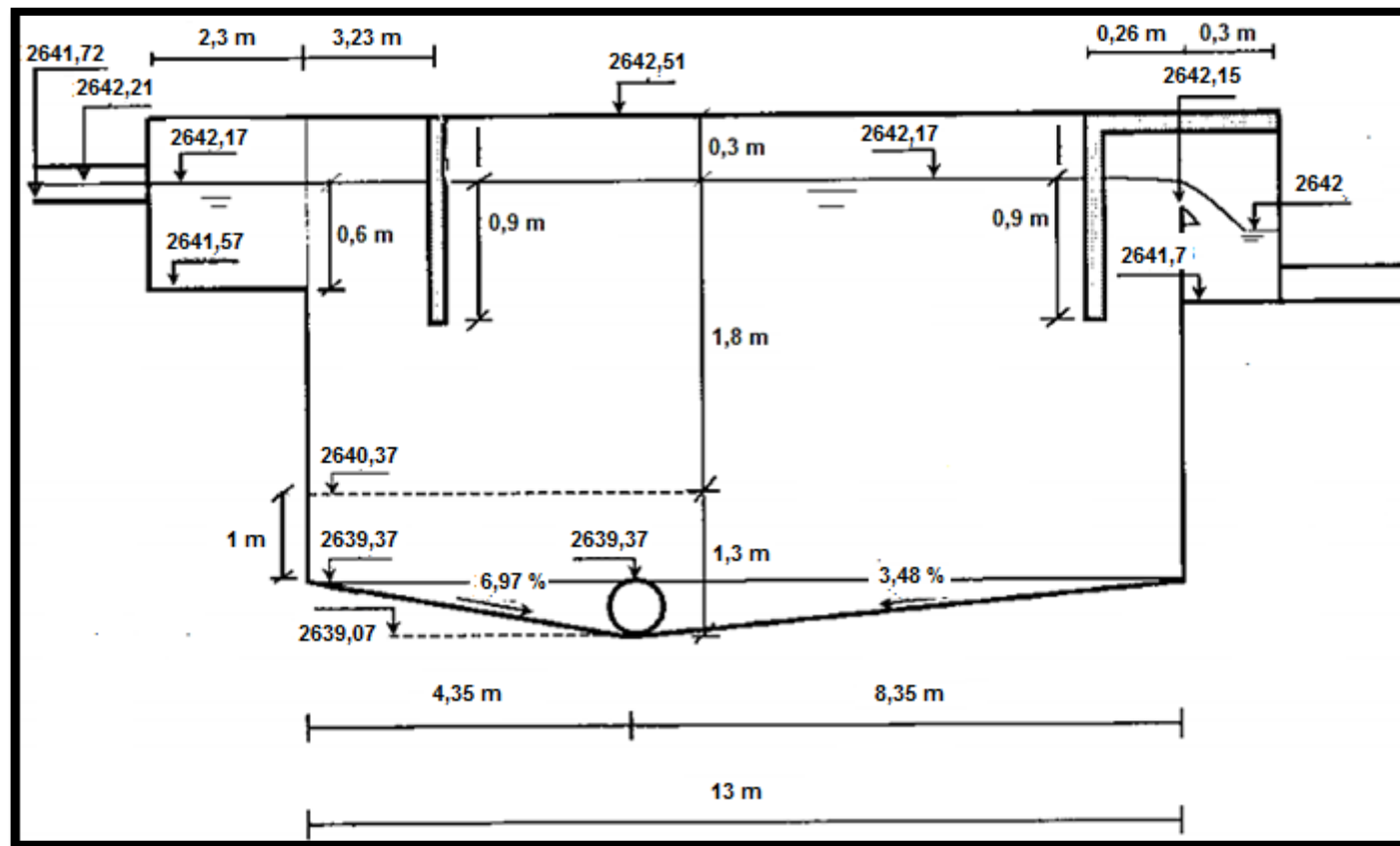
Tabla 17. Cotas del diseño del desarenador (msnm).

Cota de batea de la tubería de entrada	2641,72
Cota lámina de agua en tubería de entrada	2642,21
Cota lámina de agua en cámara de aquietamiento	2642,17
Cota de la cresta del vertedero cámara de aquietamiento	2642,16
Cota de fondo de la cámara de aquietamiento	2641,57
Cota de lámina de agua en zona de sedimentación	2642,17
Cota de la corona de los muros del desarenador	2642,51
Cota interior de pantallas de entrada y salida	2641,27
Cota del fondo de profundidad útil de sedimentación	2640,37
Cota placa de fondo a la entrada y salida del desarenador	2639,37
Cota placa de fondo en punto de desagüe	2639,07
Cota de batea de la tubería de lavado	2639,07
Cota clave de la tubería de lavado	2639,37
Cota de cresta del vertedero de salida	2642,15
Cota de lámina de agua de la cámara de recolección	2642,00
Cota de fondo de la cámara de recolección	2641,70

Fuente. Los autores.

En el siguiente grafico se presentan las dimensiones del diseño de la desarenador con sus respectivas cotas de acuerdo a la altitud del lugar donde será ubicado.

Grafico 12. Resultados del diseño del desarenador. Corte longitudinal A-A.



Fuente. Los autores.

8.4.5 Número máximo de habitantes que se puede abastecer con el diseño propuesto

Para calcular el número máximo de habitantes que se puede abastecer, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Caudales de las fuentes hídricas que abastecen el sistema:

En este caso se cuenta con el caudal del pozo Juaica el cual opera a $8 \left(\frac{L}{s}\right)$ y el caudal de la quebrada Tince obtenido de la curva de duración de caudales al 95 % el cual equivale a $27 \left(\frac{L}{s}\right)$.

- Consumo total adoptado para el sistema, el cual es de $156,25 \left(\frac{L}{hab*dia}\right)$.

Caudal total del sistema = Caudal pozo Juaica + Caudal quebrada Tince

$$Caudal\ total\ del\ sistema = 8 + 27 = 35 \left(\frac{L}{s}\right) = 3024000 \frac{L}{dia}$$

$$Numero\ max.\ hab.\ abastecidos = \frac{Caudal\ total\ del\ sistema \left(\frac{L}{dia}\right)}{Consumo\ total\ adoptado\ del\ sistema \left(\frac{L}{hab*dia}\right)}$$

$$Numero\ max.\ de\ hab.\ abastecidos = \frac{3024000 \left(\frac{L}{dia}\right)}{156,25 \left(\frac{L}{hab*dia}\right)} = 19354\ hab$$

De acuerdo al resultado del número máximo de habitantes abastecidos se determina que el caudal total del sistema no lograra abastecer al total de la población proyectada para el año 2016 la cual es de 26494 hab.

9 CONCLUSIONES

- El nivel de complejidad del sistema de abastecimiento para el municipio de Tabio según el RAS 2000 es medio alto, por tal razón el periodo de diseño para dicho sistema se realizó para una duración de 25 años.
- De acuerdo a la proyección de la población realizada para el municipio de Tabio se determinó que para el periodo de diseño “año 2041” se tendrá una población de 51570 habitantes.
- Según el nivel de complejidad del sistema se determinó que el consumo total adoptado para el sistema de abastecimiento del municipio de Tabio es de $156 \left(\frac{L}{hab*dia} \right)$.
- Como resultado del estudio de la demanda de agua potable para el municipio de Tabio, se determinó que para el año 2041 se necesitara un caudal de 86,6 $\left(\frac{L}{s} \right)$ para abastecer al 100 % de los habitantes.
- Se determinó que la cuenca de la quebrada Tincé tiene un rendimiento hídrico de 25,14 $\left(\frac{\frac{L}{s}}{Km^2} \right)$, el cual es superior al rendimiento hídrico presentado por el IDEAM en el estudio nacional del agua realizado en el año 2015. En el cual se indica que para el departamento de Cundinamarca el rendimiento se encuentra en el rango de 15 a 20 $\left(\frac{\frac{L}{s}}{Km^2} \right)$. Por tal motivo se concluye que la cuenca cuenta con un efectivo balance hídrico.
- Por medio del estudio de los caudales de la quebrada Tincé mediante la aplicación de la curva de duración de caudales, se determinó que el caudal de la quebrada Tincé no alcanzara a cubrir la demanda de agua para el municipio de Tabio en el año 2041, la cual es de 86,6 $\left(\frac{L}{s} \right)$.
- Del análisis realizado a la curva de duración de caudales de la quebrada Tincé, se determinó que el caudal promedio diario para el sistema de

abastecimiento será de $0,027 \left(\frac{m^3}{s} \right)$, por el motivo de que en el 95 % del tiempo se tendrá este caudal.

- La propuesta de diseño del sistema de abastecimiento operará con un caudal de $27 \left(\frac{L}{s} \right)$, por lo cual tendrá un incremento de $9 \left(\frac{L}{s} \right)$ con respecto al caudal actual de operación del sistema que es de $18 \left(\frac{L}{s} \right)$.
- El diseño de nuevas estructuras del sistema de abastecimiento del municipio de Tabio genera mayor cobertura en cuanto al número de personas beneficiadas por el servicio, por el motivo de que el sistema operara con un mayor caudal.
- De acuerdo a la suma de los caudales de las dos fuentes hídricas que abastecen al municipio de Tabio, se determinó que el número máximo de habitantes que se puede abastecer es de 19354 habitantes.
- Como conclusión final se tiene que la suma de los caudales de la quebrada Tincé $27 \left(\frac{L}{s} \right)$ y el pozo Juaica $10 \left(\frac{L}{s} \right)$ no alcanzarían a suplir la demanda de agua potable para el final del periodo de diseño, la cual es de $86,6 \left(\frac{L}{s} \right)$.

10 RECOMENDACIONES

- De acuerdo al análisis hidrológico realizado a la quebrada Tincé se recomienda buscar otra fuente de abastecimiento para el municipio de Tabio, por el motivo de que esta fuente no cuenta con un caudal suficiente abastecer al 100 % de los habitantes.
- Se aconseja tener en cuenta el diseño elaborado de las estructuras hidráulicas del sistema de acueducto para la optimización de este.

11 BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía de Tabio. (30 de Abril de 2008). *Plan integral Unico*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2014, de http://www.tabio-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/37396234326535666439333132333462/INFORME_PIU.pdf
- Alcaldía de Tabio. (16 de Julio de 2013). *Sitio web del municipio Tabio en Cundinamarca*. Recuperado el 20 de abril de 2014, de http://www.tabio-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- Arthur, S. (1986). *Curso de Hidrologia*. Obtenido de <http://tecrenat.fcien.edu.uy/Cuencas/Gestion%20Integrada%20de%20Cuencas/CICLO%20HIDROLOGICO.pdf>
- Barrenechea, A. (2005). *Aspectos Fisicoquimicos de la Calidad del Agua*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>
- Caceres, C. (1999). *Diccionario de Hidrologia y Ciencia afines*. España: Plaza y Valdes.
- CIDETER. (18 de mayo de 2010). *Documento de diagnostico revision y ajustes EOT Tabio*. Recuperado el 12 de abril de 2014, de http://www.tabio-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/63343534616564643262303236373763/DIAGN_STICO_DEL_TERRITORIO_TABIO_MAYO_18_2.pdf
- Cocanougher, J., & Henken, K. (2007). *Qué es una línea divisoria de las aguas*. Obtenido de <http://www2.ca.uky.edu/enri/pubs/ENRI-132%20WhatisaWatershed%20spanish.pdf>
- Corcho Romero, F., & Duque Serna, J. I. (2005). *acueductos teoria y diseño*. medellin: universidad de medellin.
- CORTOLIMA. (2012). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Microcuenca de las Quebradas Las Panelas y la Balsa*. Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/APRESTAMIENTO/INTRODUCCION_PANELAS_Y_BALSA.pdf

DANE. (13 de septiembre de 2010). *glosario - DANE*. Recuperado el 15 de abril de 2014, de http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25785T7T000.PDF

Decreto 1640. (2 de Agosto de 2012). *Alcaldía de Bogotá*. Recuperado el 29 de Agosto de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49987>

Decreto 1729. (6 de Agosto de 2002). *Alcaldía de Bogotá*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5534>

Decreto 1889. (1 de Noviembre de 2011). *Alcaldía de Medellín*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/Servicios%20P%C3%BAblicos/documentos/Decreto%201889%20de%202011%20M%C3%ADnimo%20Vital%20de%20Agu>

Diana, M., & Reyes, G. (Marzo de 2005). *Geología de la Sabana de Bogotá*. Obtenido de https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf

EPM. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM*. Medellín: Copyright .

Gamez, W. R. (2010). *Texto Basico de Hidrologia*. Managua: Editronic, S.A.

Horacio, M. (2013). *Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras*. Santiago de Chile: RIL editores.

Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. (1994). *Diagnostico Preliminar de las Cuencas Fronterizas Guatemala-Mexico*. Guatemala: IICA.

Leff, E., Carabias, J., & Batis, I. (1990). *Recursos naturales, tecnica y cultura*. Mexico, D.F.: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Lopez, L., Andres, P., & Alcaraz, N. (2009). *Investigación EUITC*. Obtenido de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2059/1/apf.pdf>

Lopez, P. (2006). *Abastecimiento de Agua Potable: y disposición y eliminación de excretas*. Mexico, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

- Lopez, R. (2003). *Elementos de diseño Para Acueducto y Alcantarillado*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- M.Poirre. (1997). El Regadio. En *E Regadio Redes, teoria, tecnica, y economia de los rigos*. Barcelona España: Editores Tecnicos Asociados.
- Ministerio de Desarrollo Economico. (17 de Noviembre de 2000). *Documentacion Tecnico Normativa del Sector de Agua*. Recuperado el 15 de Abril de 2014, de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (27 de Noviembre de 2009). *Resolucion 2320 de 2009*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38487>
- Moreno, J. (5 de Noviembre de 2004). *Especificaciones Tecnicas para el Diseño de Captaciones por Gravedad de Aguas Superficiales*. Recuperado el 25 de Agosto de 2014, de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/021_Dise%C3%B1o_captaciones/dise%C3%B1o_captaciones.pdf
- Nash, J. (1990). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_2/Pages/ciclohidrologico.html
- ONU. (28 de Julio de 2010). *Resolución de la Asamblea General 64/292*. Obtenido de http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/NotIntranet/Copia_N0947938.pdf
- Ordoñez, J. (2011). *Que es una Cuenca Hidrografica*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2014, de http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf
- Organizacion Mundial de la Salud. (1985). *Guia para la Calidad de Agua Potable*. Bogota: Organizacion Panamericana.
- Organizacion Panamericana de la Salud. (2005). Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

- Parra, O. (Junio de 2009). *Gestion Integrada de Cuencas Hidrograficas* . Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de <http://www.eula.cl/doc/Cuencas%20Hidrografica%20Dr%20Parra.pdf>
- Perez, G., & Rodriguez, A. (2009). *Hidrologia Superficial* . Recuperado el 27 de Agosto de 2014, de <http://hidraulica.umich.mx/bperez/HIDROLOGIA-SUPERF.pdf>
- Ramírez, C. (2003). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Panama*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j0604s/j0604s00.pdf>
- Sierra R, C. A. (2011). *Calidad del Agua. Evaluacion y diagnostico*. Medellin: Universidad de Medellin.
- Silva Garavito, L. F. (1980). *Diseño de Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Editorial Stella.
- Soczynska, U. (1991). *CURSO DE HIDROLOGÍA* . Obtenido de <http://tecrenat.fcien.edu.uy/Cuencas/Gestion%20Integrada%20de%20Cuencas/CICLO%20HIDROLOGICO.pdf>
- Tabio, R. Y. (Mayo de 2010). Recuperado el 20 de Mayo de 2014
- Torres, A. (2004). *Apuntes de clases sobre HIDROLOGIA URBANA*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Valera, J. (2009). *Terminos de Geografia de España*. Obtenido de <http://www.contraclave.es/geografia/terminos%20geograficos.pdf>